

(corresponding to)  
(VSP 437196)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-215627

(43)公開日 平成5年(1993)8月24日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 L 5/16		8505-2F		
G 0 1 P 15/125		7907-2F		
G 0 1 R 33/02		8203-2G		

審査請求 未請求 請求項の数8(全14頁)

(21)出願番号 特願平4-48055

(22)出願日 平成4年(1992)2月4日

(71)出願人 000122863

岡田 和廣

埼玉県上尾市菅谷4丁目73番地

(72)発明者 岡田 和廣

埼玉県上尾市菅谷4丁目73番地

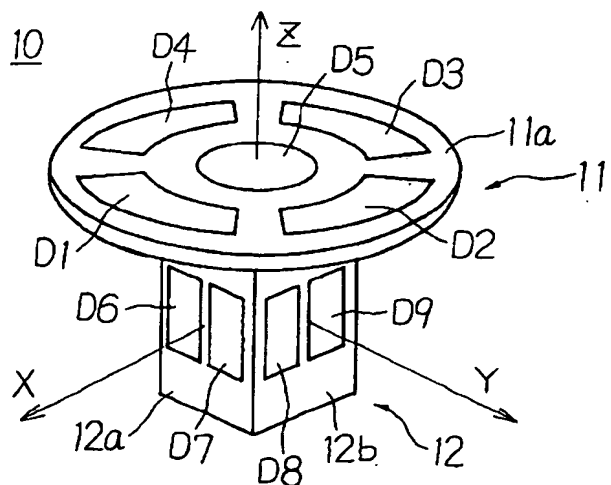
(74)代理人 弁理士 志村 浩

(54)【発明の名称】 多次元方向に関する力・加速度・磁気の検出装置

(57)【要約】

【目的】 X Y Z三次元座標系における各軸方向の力とともに、各軸まわりのモーメントを検出することのできる力検出装置を提供する。

【構成】 変位体10は、円盤状の平板11と四角柱状の柱状体12とからなる。変位体10の上面には5つの変位電極D1～D5が形成され、柱状体12の4つの側面には8つの変位電極D6～D13が形成される。この変位体10は、図示されていない固定体20の内部に宙吊り状態に保持される。固定体20の内部には、各変位電極D1～D13のそれぞれに対向する位置に固定電極E1～E13が設けられ、各対向電極対により容量素子C1～C13が構成される。各容量素子の容量値の変化により、各軸方向の力 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ および各軸まわりのモーメント $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ が求められる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 XYZ三次元座標系における力の多次元方向成分を検出する装置であって、力の作用により変形する可撓部をもった固定体と、前記可撓部によって支持される変位体と、前記変位体の一部に定義された第1の変位面と、この第1の変位面に対向し前記固定体の一部に定義された第1の固定面と、の距離を検出する第1の検出手段と、前記第1の変位面と交わり前記変位体の一部に定義された第2の変位面と、この第2の変位面に対向し前記固定体の一部に定義された第2の固定面と、の距離を検出する第2の検出手段と、前記第1の検出手段による検出値および前記第2の検出手段による検出値に基づいて、前記変位体に作用した力を座標軸方向の力成分および座標軸まわりのモーメント成分ごとに演算して求める演算手段と、を備えることを特徴とする多次元方向に関する力の検出装置。

【請求項2】 請求項1に記載の装置において、第1の変位面と第2の変位面とが直交し、第1の固定面と第2の固定面とが直交するように形成したことを特徴とする多次元方向に関する力の検出装置。

【請求項3】 請求項2に記載の装置において、変位体の内部の所定位置にXYZ三次元座標系の原点を定義し、XY平面に対して平行な面上に第1の変位面を定義し、Z軸に対して平行な面上に第2の変位面を定義し、第1の検出手段による検出値に基づいて、X軸まわりのモーメント $M_x$ およびY軸まわりのモーメント $M_y$ 、ならびにZ軸方向の力 $F_z$ を求め、第2の検出手段による検出値に基づいて、X軸方向の力 $F_x$ およびY軸方向の力 $F_y$ 、ならびにZ軸まわりのモーメント $M_z$ を求めることを特徴とする多次元方向に関する力の検出装置。

【請求項4】 請求項2に記載の装置において、変位体の内部の所定位置にXYZ三次元座標系の原点を定義し、XY平面に対して平行な面上に第1の変位面を定義し、Z軸に対して平行な面上に第2の変位面を定義し、第1の検出手段による検出値に基づいて、X軸まわりのモーメント $M_x$ およびZ軸方向の力 $F_z$ を求め、第2の検出手段による検出値に基づいて、X軸方向の力 $F_x$ およびY軸方向の力 $F_y$ 、ならびにY軸まわりのモーメント $M_y$ およびZ軸まわりのモーメント $M_z$ を求めることを特徴とする多次元方向に関する力の検出装置。

【請求項5】 請求項2に記載の装置において、変位体の内部の所定位置にXYZ三次元座標系の原点を定義し、XY平面に対して平行な面上に第1の変位面を定義し、Z軸に対して平行な面上に第2の変位面を定義し、

第1の検出手段による検出値に基づいて、Z軸方向の力 $F_z$ を求め、

第2の検出手段による検出値に基づいて、X軸方向の力 $F_x$ およびX軸まわりのモーメント $M_x$ 、Y軸方向の力 $F_y$ およびY軸まわりのモーメント $M_y$ 、ならびに、Z軸まわりのモーメント $M_z$ を求めることを特徴とする多次元方向に関する力の検出装置。

【請求項6】 請求項1～5のいずれかに記載の装置において、

第1の検出手段が、第1の変位面上に形成された第1の変位電極と第1の固定面上に形成された第1の固定電極とによって構成される容量素子を有し、この容量素子の容量値に基づいて距離の検出を行い、

第2の検出手段が、第2の変位面上に形成された第2の変位電極と第2の固定面上に形成された第2の固定電極とによって構成される容量素子を有し、この容量素子の容量値に基づいて距離の検出を行うことを特徴とする多次元方向に関する力検出装置。

【請求項7】 請求項1～6のいずれかに記載の検出装置において、

加速度に起因して発生する力を変位体に作用させ、加速度の検出を行い得るようにしたことを特徴とする多次元方向に関する加速度検出装置。

【請求項8】 請求項1～6のいずれかに記載の検出装置において、

磁気起因して発生する力を変位体に作用させ、磁気の検出を行い得るようにしたことを特徴とする多次元方向に関する磁気検出装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は力・加速度・磁気の検出装置、特に多次元の各成分ごとに検出値を得ることができる検出装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】自動車産業や機械産業などでは、力、加速度、磁気といった物理量を正確に検出できる検出装置の需要が高まっている。特に、二次元あるいは三次元の各成分ごとにこれらの物理量を検出する小型の装置が望まれている。

【0003】このような需要に応えるため、シリコンなどの半導体基板にゲージ抵抗を形成し、外部から加わる力に基づいて基板に生じる機械的な歪みを、ピエゾ抵抗効果を利用して電気信号に変換する力・加速度・磁気の検出装置が提案されている。ただ、このようなゲージ抵抗を用いた検出装置は、製造コストが高く、温度補償が必要であるという問題がある。

【0004】そこで、近年、容量素子あるいは圧電素子を用いて物理量の検出を行う検出装置が提案されている。たとえば、特願平2-274299号明細書、特願平3-138191号明細書、特願平3-203875

明細書、特願平3-306587号明細書には、静電容量の変化を利用した新規な検出装置が提案されている。この新規な検出装置では、固定基板上に形成された固定電極と、力の作用により変位を生じる変位電極と、によって容量素子が構成され、この容量素子の静電容量の変化に基づいて、作用した力の多次元成分のそれぞれが検出できる。また、特願平2-416188号明細書には、この新規な検出装置の製造方法が開示され、特許協力条約に基づく国際出願に係るPCT/J P 91/00428号明細書には、この新規な検出装置の検査方法が開示されている。また、特願平3-203876号明細書には、容量素子の代わりに、圧電素子を用いた検出装置が開示されている。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 上述した検出装置は、複数の容量素子あるいは圧電素子を平面的に配置し、XYZ三次元座標系におけるX軸まわりのモーメント $M_x$ 、Y軸まわりのモーメント $M_y$ 、Z軸方向の力 $F_z$ 、のそれぞれを検出することを意図しているため、他のX軸方向の力 $F_x$ 、Y軸方向の力 $F_y$ 、Z軸まわりのモーメント $M_z$ の検出を同時に行うことはできない。しかしながら、産業機械などでは、各軸方向の力と各軸まわりのモーメントの全成分の検出が必要になる場合がある。

【0006】 そこで本発明は、各軸方向の力とともに、各軸まわりのモーメントを検出することのできる多次元方向に関する力・加速度・磁気の検出装置を提供することを目的とする。

#### 【0007】

##### 【課題を解決するための手段】

(1) 本願第1の発明は、XYZ三次元座標系における力の多次元方向成分を検出する装置において、力の作用により変形する可撓部をもった固定体と、可撓部によって支持される変位体と、変位体の一部に定義された第1の変位面と、この第1の変位面に対向し固定体の一部に定義された第1の固定面と、の距離を検出する第1の検出手段と、第1の変位面と交わり変位体の一部に定義された第2の変位面と、この第2の変位面に対向し固定体の一部に定義された第2の固定面と、の距離を検出する第2の検出手段と、第1の検出手段による検出値および第2の検出手段による検出値に基づいて、変位体に作用した力を座標軸方向の力成分および座標軸まわりのモーメント成分ごとに演算して求める演算手段と、を設けたものである。

【0008】 (2) 本願第2の発明は、上述の第1の発明に係る検出装置において、第1の変位面と第2の変位面とが直交し、第1の固定面と第2の固定面とが直交するように形成したものである。

【0009】 (3) 本願第3の発明は、上述の第2の発明に係る検出装置において、変位体の内部の所定位置にXYZ三次元座標系の原点を定義し、XY平面に対して

平行な面上に第1の変位面を定義し、Z軸に対して平行な面上に第2の変位面を定義し、第1の検出手段による検出値に基づいて、X軸まわりのモーメント $M_x$ およびY軸まわりのモーメント $M_y$ 、ならびにZ軸方向の力 $F_z$ を求め、第2の検出手段による検出値に基づいて、X軸方向の力 $F_x$ およびY軸方向の力 $F_y$ 、ならびにZ軸まわりのモーメント $M_z$ を求めるようにしたものである。

【0010】 (4) 本願第4の発明は、上述の第2の発明に係る検出装置において、変位体の内部の所定位置にXYZ三次元座標系の原点を定義し、XY平面に対して平行な面上に第1の変位面を定義し、Z軸に対して平行な面上に第2の変位面を定義し、第1の検出手段による検出値に基づいて、X軸まわりのモーメント $M_x$ およびZ軸方向の力 $F_z$ を求め、第2の検出手段による検出値に基づいて、X軸方向の力 $F_x$ およびY軸方向の力 $F_y$ 、ならびにY軸まわりのモーメント $M_y$ およびZ軸まわりのモーメント $M_z$ を求めるようにしたものである。

【0011】 (5) 本願第5の発明は、上述の第2の発明に係る検出装置において、変位体の内部の所定位置にXYZ三次元座標系の原点を定義し、XY平面に対して平行な面上に第1の変位面を定義し、Z軸に対して平行な面上に第2の変位面を定義し、第1の検出手段による検出値に基づいて、Z軸方向の力 $F_z$ を求め、第2の検出手段による検出値に基づいて、X軸方向の力 $F_x$ およびX軸まわりのモーメント $M_x$ 、Y軸方向の力 $F_y$ およびY軸まわりのモーメント $M_y$ 、ならびに、Z軸まわりのモーメント $M_z$ を求めるようにしたものである。

【0012】 (6) 本願第6の発明は、上述の第1～5のいずれかの発明に係る検出装置において、第1の検出手段に、第1の変位面上に形成された第1の変位電極と第1の固定面上に形成された第1の固定電極とによって構成される容量素子を設け、この容量素子の容量値に基づいて距離の検出を行い、第2の検出手段に、第2の変位面上に形成された第2の変位電極と第2の固定面上に形成された第2の固定電極とによって構成される容量素子を設け、この容量素子の容量値に基づいて距離の検出を行うようにしたものである。

【0013】 (7) 本願第7の発明は、上述の第1～6のいずれかの発明に係る検出装置において、加速度に起因して発生する力を変位体に作用させ、加速度の検出を行い得るようにしたものである。

【0014】 (8) 本願第8の発明は、上述の第1～6のいずれかの発明に係る検出装置において、磁気に起因して発生する力を変位体に作用させ、磁気の検出を行い得るようにしたものである。

#### 【0015】

【作 用】 変位体は固定体の一部に形成された可撓部によって支持されている。したがって、変位体に外部からの力が作用すると、この可撓部が撓みを生じ、固定体に

対する変位体の位置が変化する。この位置の変化は、変位体上に定義された変位面と固定体上に定義された固定面との間の距離に変化をもたらす。この距離の変化は、作用した力の大きさと方向の情報を含んでいるため、この距離の検出値に基づいて所定の演算を行うことにより、作用した力の大きさと方向を求めることができる。

【0016】本発明による検出装置の特徴は、変位体上に第1の変位面と第2の変位面という2つの変位面を定義し、これらに対向する面として、固定体上に第1の固定面と第2の固定面という2つの固定面を定義した点にある。第1の変位面と第1の固定面との間の距離は第1の検出手段によって検出され、第2の変位面と第2の固定面との間の距離は第2の検出手段によって検出される。ここで、第1の変位面と第2の変位面とは互いに交わる（より好ましくは直交する）面であるため、第1の検出手段による検出値と第2の検出手段による検出値とは、それぞれ独立した情報を含むことになる。したがって、これら両検出手段による検出値を利用すれば、XYZ三次元座標系における各軸方向の力 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ と各軸まわりのモーメント $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ とを同時に検出することが可能になる。

【0017】

【実施例】

#### §1 本発明の基本原理解

以下、本発明を図示する実施例に基づいて説明する。はじめに、本発明の基本原理解を、図1に示す基本的実施例に基づいて説明する。この実施例に係る力検出装置は、変位体10と固定体20とを備えている。変位体10は、図2にその斜視図を示すように、円盤状の平板11と四角柱の柱状体12とからなる構造を有する。柱状体12は平板11の下面に接合されている。なお、本明細書では、構造説明の便宜上、変位体10を平板11と柱状体12との2つの構成要素に分けているが、実際には、変位体10は一体成型により作成できる。平板11の上面11aには、電極A1が形成されている。また、柱状体12の側面12a、12b、12c、12dには、それぞれ電極A2、A3、A4、A5が形成されている。なお、図2には、各側面の一部しか示されていないが、側面12cは側面12aの反対側に位置する面であり、側面12dは側面12bの反対側に位置する面である。また、電極A4は図示されていない側面12c上に形成され、電極A5は図示されていない側面12d上に形成されている。以下、これらの各電極を変位電極A1～A5と呼び、これら変位電極が形成されている面を変位面と呼ぶことにする。

【0018】なお、図1に示すように、変位体10内の一点（たとえば重心位置）に、原点Oを定義し、図1の左方にX軸を、上方にZ軸を、紙面に対して垂直上方にY軸を、それぞれ定義してXYZ三次元座標系を考えると、変位体10に関しては図2に示すようにX軸、Y

軸、Z軸が定義されることになる。図1には、図2に示す変位体10のXZ平面についての断面が示されていることになる。

【0019】一方、固定体20は、図1に示すように、変位体10の周囲を取り囲むような形状をしている。固定体20の外形は直方体であり、底部には、可撓部21が形成されている。この可撓部21は、力の作用により変形を生じるように形成されており、変位体10はこの可撓部21によって支持された状態となっている。すなわち、可撓部21は薄い平板状の部材からなり、この実施例ではその中央部に四角形の窓が開口されており、この窓に柱状体12が挿通した状態で固定されている。実際には、可撓部21の中心部に柱状体12をねじ止め等の方法により固定すれば、より確実な固定が可能である。図1に示されているように、変位体10は、この可撓部21だけで支持されており、この支持部分を除いて固定体20には接触していない状態となっている。柱状体12は、包囲部22によって四方から取り囲まれているが、両者間には所定の間隙が形成されている。結局、固定体20の内部に形成された空間に、変位体10が宙吊りの状態となっていることになる。前述したように、可撓部21は力の作用により変形を生じる。したがって、柱状体12の底面に定義した作用点Pに力を加えると、可撓部21に撓みが生じ、変位体10が変位することになる。このときの変位状態は、加えられた力に基づいて決まる。本発明の基本原理解は、この変位状態を検出することにより、加えられた力を検出しようとするものである。

【0020】固定体20の内壁には、変位体10の各変位面に対向する固定面が形成されている。すなわち、固定面20aは変位面11aに対向する面であり、固定面22a、22b、22c、22dは、それぞれ変位面12a、12b、12c、12dに対向する面である。また、各固定面には、それぞれ変位電極に対向する固定電極が形成されている。すなわち、固定面20aには固定電極B1が形成されており、固定面22a、22b、22c、22dにはそれぞれ固定電極B2、B3、B4、B5が形成されている。図3は、図1に示す装置をXY平面で切断した断面図であり、各対向面と各電極の位置関係が明瞭に示されている。なお、図示を容易にするために、本願図面中、斜視図（たとえば図2）においては各電極の厚みを無視して描き、断面図（たとえば図1や図3）においては各電極の厚みを強調して描いてある。

【0021】ここで、対向する電極A1とB1とによって容量素子C1を形成し、対向する電極A2とB2とによって容量素子C2を形成し、対向する電極A3とB3とによって容量素子C3を形成し、対向する電極A4とB4とによって容量素子C4を形成し、対向する電極A5とB5とによって容量素子C5を形成する。一般に、容量素子の静電容量Cは、電極面積をS、電極間隔を

d、誘電率を $\epsilon$ とすると、

$$C = \epsilon S / d$$

で定まる。したがって、対向する電極間隔が接近すると静電容量 $C$ は大きくなり、遠ざかると静電容量 $C$ は小さくなる。そこで、各容量素子の容量値の変化に基づいて、対向する各電極間距離（すなわち、各対向面間距離）を求めることができる。本検出装置は、この原理を利用し、各電極間の静電容量の変化を測定し、この測定値に基づいて作用点 $P$ に作用した外力を検出するものである。

【0022】たとえば、図1において、作用点 $P$ に $X$ 軸方向の力 $F_x$ が加わったとすると、可撓部21の図の左側部分は縮み、右側部分は伸び、変位体10全体が図の左方へ平行移動する。すなわち、原点 $O$ は $X$ 軸上を正の方向へと移動する。このため、電極対 $A_2$ 、 $B_2$ で構成される容量素子 $C_2$ の電極間隔は小さくなり、容量値は増加する。逆に、電極対 $A_4$ 、 $B_4$ で構成される容量素子 $C_4$ の電極間隔は大きくなり、容量値は減少する。このとき、電極対 $A_1$ 、 $B_1$ 、電極対 $A_3$ 、 $B_3$ 、電極対 $A_5$ 、 $B_5$ の間隔は変化しない。また、図4に示すように、作用点 $P$ に図の矢印 $F$ で示すような外力が作用した場合、この外力は、原点に $O$ に対して $Y$ 軸まわりのモーメント $-M_y$ （モーメントの符号については後述）を与えることになる。すなわち、可撓部21が撓みを生じ、変位体10は固定体20の内部で図のように傾く。なお、図の矢印 $F$ で示すような外力を加えると、実際にはモーメント $-M_y$ だけでなく、 $+F_x$ という力も加わることになるが、ここでは説明の便宜上、 $Y$ 軸まわりのモーメント $-M_y$ だけを考えている。この場合、各電極対の間隔は、部分的に小さくなったり大きくなったりする。各軸まわりのモーメントを独立して検出する手法については、後に詳述するが、本発明の特徴は、作用した外力が各軸方向の力であっても、各軸まわりのモーメントであっても、検出できる点にある。なお、本明細書においては、各軸方向の力と各軸まわりのモーメントとの両方の総称しても「力」という用語を用いることにする。

【0023】要するに、本発明の基本原理は、各容量素子の容量値がどのようなパターンで変化したかを調べることにより、作用した外力の方向に関する情報を得ることができ、容量値の変化量がどれだけであるかを調べることにより作用した外力の大きさに関する情報を得ることにある。しかも、本発明では、2とおりの変位面について変位を求めている。いま、電極 $A_1$ が形成された変位面11aを第1の変位面と呼び、電極 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$ 、 $A_5$ が形成された変位面12a、12b、12c、12dを第2の変位面と呼べば、第1の変位面と第2の変位面とは、与えられた外力に応じてそれぞれ独特の変位態様を示す。本発明の検出装置は、これら2とおりの変位態様に基づいて、各軸方向の力と各軸まわりのモー

メントの両方を検出することができるのである。以下、具体的な実施例に基づいて、本発明を更に詳しく説明する。

#### 【0024】§2 第1の具体的な実施例

続いて、本発明の第1の具体的な実施例を説明する。図5は、この具体的な実施例に係る力検出装置の側断面図である。この装置は、前述した基本的実施例と同様に、変位体10と固定体20とを備えており、これらの構造は前述したとおりである。基本的実施例との違いは、電極の数および配置にある。図6は、この実施例における変位体10の斜視図であり、図5には、この変位体10を $XZ$ 平面で切った断面が示されていることになる。この実施例では、合計で13個の変位電極 $D_1 \sim D_{13}$

（このうち電極 $D_{10} \sim D_{13}$ については、図6には現れていない）が配置されている。すなわち、第1の変位面（平板11の上面11a）には、5枚の変位電極 $D_1 \sim D_5$ がシンメトリックに配置されており、その様子は、変位体10の上面を示す図7に明瞭に示されている。また、第2の変位面（柱状体12の4つの側面）には、8枚の変位電極 $D_6 \sim D_{13}$ がシンメトリックに配置されており、その様子は、この検出装置を $XY$ 平面で切断した断面を示す図8に明瞭に示されている。更に、各変位電極 $D_1 \sim D_{13}$ に対向するように、固定体20の内部に固定電極 $E_1 \sim E_{13}$ が配置されている。そこで、電極対 $D_1$ 、 $E_1$ によって容量素子 $C_1$ を形成し、以下同様に、電極対 $D_2$ 、 $E_2$ 、電極対 $D_3$ 、 $E_3$ 、…電極対 $D_{13}$ 、 $E_{13}$ 、によってそれぞれ容量素子 $C_2$ 、 $C_3$ 、… $C_{13}$ を形成する。

【0025】ここで、変位体10の底面に定義した作用点 $P$ に各軸方向の力を作用させた場合、各容量素子 $C_1 \sim C_{13}$ にどのような容量値の変化が現れるかを考えてみる。まず、 $X$ 軸方向の力 $F_x$ を作用させると、図8において、柱状体12全体が図の左方へ平行移動するため、電極対 $D_6$ 、 $E_6$ および電極対 $D_7$ 、 $E_7$ の電極間隔は小さくなり、電極対 $D_{10}$ 、 $E_{10}$ および電極対 $D_{11}$ 、 $E_{11}$ の電極間隔は大きくなる。このため、容量素子 $C_6$ 、 $C_7$ の容量値は増加し、容量素子 $C_{10}$ 、 $C_{11}$ の容量値は減少する。他の電極対間隔に変化はないため、他の容量素子の容量値には変化は生じない。図9に示す表の第1行目（ $F_x$ と記した行）には、 $X$ 軸方向の力 $F_x$ が作用したときの各容量素子 $C_1 \sim C_{13}$ の容量値の変化を示してある。ここで、“0”は変化なし、“+”は容量値の増加、“-”は容量値の減少、をそれぞれ示す。同様に、 $Y$ 軸方向の力 $F_y$ を作用させると、図9に示す表の第2行目（ $F_y$ と記した行）のような結果が得られる。更に、 $Z$ 軸方向の力 $F_z$ を作用させると、図5において、変位体10全体が図の上方へ平行移動するため、電極対 $D_1$ 、 $E_1 \sim$ 電極対 $D_5$ 、 $E_5$ の電極間隔は小さくなり、容量素子 $C_1 \sim C_5$ の容量値は増加する。他の電極対間隔に変化はないため、他の容量素

子の容量値には変化は生じない。したがって、図9に示す表の第3行目（ $F_z$ と記した行）に示すような結果が得られる。なお、各軸についての負方向の力 $-F_x$ 、 $-F_y$ 、 $-F_z$ が作用した場合には、表における“+”と“-”の関係が逆転する。また、同じ方向の力でも、大きな力であれば、それだけ容量値の変化量も大きくなる。

【0026】次に、変位体10の底面に定義した作用点Pに各軸まわりのモーメントを作用させた場合、各容量素子C1～C13にどのような容量値の変化が現れるかを考えてみる。まず、Y軸まわりのモーメント $M_y$ を作用させると、図5において、変位体10全体が原点Oを中心に反時計回り（ここでは、右ネジをY軸の正の方向に進めるためにネジに与える回転方向を、Y軸まわりのモーメントの正の方向と定義している）に回転変位するため、電極対D1、E1の電極間隔は大きくなり、電極対D3、E3の電極間隔は小さくなる。このため、容量素子C1の容量値は減少し、容量素子C3の容量値は増加する。他の電極対間隔については、それぞれについて部分的に小さくあるいは大きくなるが、1組の電極対全体では電極間隔の変化が相殺されるため、他の容量素子の容量値には変化は生じない。したがって、図9に示す表の第5行目（ $M_y$ と記した行）のような結果が得られる。同様に、X軸まわりのモーメント $M_x$ を作用させると、図9に示す表の第4行目（ $M_x$ と記した行）のような結果が得られる。更に、Z軸まわりのモーメント $M_z$ を作用させると、図8において、柱状体12全体が原点Oを中心に反時計回りに回転変位するため、電極対D6、E6、電極対D8、E8、電極対D10、E10、電極対D12、E12、の電極間隔は小さくなり、容量素子C6、C8、C10、C12の容量値は増加する。逆に、電極対D7、E7、電極対D9、E9、電極対D11、E11、電極対D13、E13、の電極間隔は大きくなり、容量素子C7、C9、C11、C13の容量値は減少する。他の電極対間隔に変化はないため、他の容量素子の容量値には変化は生じない。したがって、図9に示す表の第6行目（ $M_z$ と記した行）に示すような結果が得られる。なお、各軸について逆まわりのモーメント $-M_x$ 、 $-M_y$ 、 $-M_z$ が作用した場合には、表における“+”と“-”の関係が逆転する。また、同じ方向のモーメントでも、大きなモーメントであれば、それだけ容量値の変化量も大きくなる。

【0027】ここで、図9の表を見ると、各軸方向の力 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 、および各軸まわりのモーメント $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ について、それぞれユニークな結果が得られていることがわかる。そこで、各容量素子C1～C13についての容量値を検出すれば、これら容量値に基づいて、各軸方向の力 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 、および各軸まわりのモーメント $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ を演算により求めることができる。図10は、このような演算を行うための

回路図の一例である。この回路図の左側に示された容量素子C1～C13は、上述の各容量素子である。この回路では、各容量素子の容量値C1～C13をCV変換回路30によって電圧値V1～V13に変換し、これら電圧値V1～V13に対して演算器31～36を用いた加減算を行い、出力端子T1～T6に各軸方向の力 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ および各軸まわりのモーメント $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ を電圧値として出力する。すなわち、モーメント $M_x$ は、演算器31により $M_x = V_2 - V_4$ なる演算を行うことにより求まる。これは、図9の表において $M_x$ の行を見ると、C2が増加しC4が減少することから両者の差分をとったものである。差分をとることによりC2の変化量とC4の変化量との合計が得られることになる。以下同様に、モーメント $M_y$ は、演算器32により $M_y = V_3 - V_1$ なる演算を行うことにより求まる。力 $F_z$ は、演算器33により $F_z = V_5$ なる演算（演算器33は単なるバッファとして機能している）を行うことにより求まる。更に、力 $F_x$ は、演算器34により、 $F_x = (V_6 + V_7) - (V_{10} + V_{11})$ なる演算を行うことにより求まる。力 $F_y$ は、演算器35により、 $F_y = (V_8 + V_9) - (V_{12} + V_{13})$ なる演算を行うことにより求まる。そして、モーメント $M_z$ は、演算器36により $M_z = (V_6 + V_8 + V_{10} + V_{12}) - (V_7 + V_9 + V_{11} + V_{13})$ なる演算を行うことにより求まる。なお、上述の演算はほんの一例を示したものであり、各軸方向の力や各軸まわりのモーメントは、別な演算によっても求めることができる。たとえば、力 $F_x$ は $F_x = V_6 - V_{10}$ なる演算により、力 $F_y$ は $F_y = V_8 - V_{12}$ なる演算により、力 $F_z$ は $F_z = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$ なる演算により、モーメント $M_z$ は $M_z = V_6 - V_7$ なる演算により、それぞれ求めてもよい。この場合は各演算に基づいた演算回路を構成すればよい。また、各出力値を相互に規格化するには、各演算器に増幅機能をもたせ、増幅率を調整するようにすればよい。

【0028】要するに、この第1の具体的な実施例では、第1の変位面（平板11の上面11a）に形成した変位電極D1～D5の変位に基づいて、X軸まわりのモーメント $M_x$ 、Y軸まわりのモーメント $M_y$ 、Z軸方向の力 $F_z$ の検出を行い、第2の変位面（柱状体12の4つの側面）に形成した変位電極D6～D13の変位に基づいて、X軸方向の力 $F_x$ 、Y軸方向の力 $F_y$ 、Z軸まわりのモーメント $M_z$ の検出を行っていることになる。

#### 【0029】§3 第2の具体的な実施例

続いて、本発明の第2の具体的な実施例を説明する。図11は、この具体的な実施例に係る力検出装置の側断面図である。この装置も、前述した基本的実施例と同様に、変位体10と固定体20とを備えており、これらの構造は前述したとおりである。図12は、この実施例における変位体10の斜視図であり、図11には、この変

位体10をXZ平面で切った断面が示されていることになる。この実施例では、合計で15個の変位電極F1～F15（このうち電極F10～F15については、図12には現れていない）が配置されている。すなわち、第1の変位面（平板11の上面11a）には、3枚の変位電極F1～F3が配置されており、その様子は、変位体10の上面を示す図13に明瞭に示されている。また、第2の変位面（柱状体12の4つの側面）には、12枚の変位電極F4～F15が配置されている。この配置の様子は、この検出装置をXY平面で切断した断面を示す図14にも示されているが、図15および図16の電極配置図を見るとより明瞭になる。図15は、X軸に対して垂直な4つの面、すなわち、固定面22a、変位面12a、変位面12c、固定面22c（これらの各面の形成位置については図3参照）上に配置された各電極の位置を示すものであり、図16は、Y軸に対して垂直な4つの面、すなわち、固定面22b、変位面12b、変位面12d、固定面22d（これらの各面の形成位置については図3参照）上に配置された各電極の位置を示すものである。要するに、柱状体12の4つの側面にそれぞれ3枚ずつ変位電極F4～F15が配置され、固定体20の内面には、この変位電極F4～F15に対向する位置に固定電極G4～G15が配置されていることになる。なお、図15に示す配置では、同一平面上の3枚の電極は上下に並んでいるが、図16に示す配置では、同一平面上の3枚の電極は左右に並んでいる。

【0030】さて、結局、各変位電極F1～F15に対向するように、固定電極G1～G15が配置されたことになる。そこで、電極対F1, G1によって容量素子C1を形成し、以下同様に、電極対F2, G2、電極対F3, G3、…電極対F15, G15、によってそれぞれ容量素子C2、C3、…C15を形成する。そして、変位体10の底面に定義した作用点Pに各軸方向の力および各軸まわりのモーメントを作用させた場合に、各容量素子C1～C15にどのような容量値の変化が現れるかを考えると、図17に示すような表が得られる。なお、このような結果が得られる理由は、前述した第1の具体的な実施例において図9に示すような表が得られる理由と同じであるため、ここでは、それぞれの場合についての細かな解析は省略する。やはり、図17の表を見ると、各軸方向の力 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 、および各軸回りのモーメント $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ について、それぞれユニークな結果が得られていることがわかる。そこで、各容量素子C1～C15についての容量値を検出すれば、これら容量値に基づいて、各軸方向の力 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 、および各軸回りのモーメント $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ を演算により求めることができる。このような演算を行うための回路図の説明は省略する。

【0031】要するに、この第2の具体的な実施例では、第1の変位面（平板11の上面11a）に形成した変位

電極F1～F3の変位に基づいて、X軸まわりのモーメント $M_x$ とZ軸方向の力 $F_z$ の検出を行い、第2の変位面（柱状体12の4つの側面）に形成した変位電極F4～F15の変位に基づいて、X軸方向の力 $F_x$ 、Y軸方向の力 $F_y$ 、Y軸まわりのモーメント $M_y$ 、Z軸まわりのモーメント $M_z$ の検出を行っていることになる。

#### 【0032】§4 第3の具体的な実施例

続いて、本発明の第3の具体的な実施例を説明する。図18は、この具体的な実施例に係る力検出装置の側断面図である。この装置も、前述した基本的実施例と同様に、変位体10と固定体20とを備えており、これらの構造は前述したとおりである。図19は、この実施例における変位体10の斜視図であり、図18には、この変位体10をXZ平面で切った断面が示されていることになる。この実施例では、合計で25個の変位電極H1～H25（このうち電極H14～H25については、図19には現れていない）が配置されている。すなわち、第1の変位面（平板11の上面11a）には、1枚の変位電極H1が配置されており、第2の変位面（柱状体12の4つの側面）には、24枚の変位電極H2～H25が配置されている。この配置の様子は、図20および図21の電極配置図を見るとより明瞭になる。図20は、X軸に対して垂直な4つの面、すなわち、固定面22a、変位面12a、変位面12c、固定面22c（これらの各面の形成位置については図3参照）上に配置された各電極の位置を示すものであり、図21は、Y軸に対して垂直な4つの面、すなわち、固定面22b、変位面12b、変位面12d、固定面22d（これらの各面の形成位置については図3参照）上に配置された各電極の位置を示すものである。要するに、柱状体12の4つの側面にそれぞれ6枚ずつ変位電極H2～H25が配置され、固定体20の内面には、この変位電極H1～H25に対向する位置に固定電極I1～I25が配置されていることになる。

【0033】さて、ここで、電極対H1, I1によって容量素子C1を形成し、以下同様に、電極対H2, I2、電極対H3, I3、…電極対H25, I25、によってそれぞれ容量素子C2、C3、…C25を形成する。そして、変位体10の底面に定義した作用点Pに各軸方向の力および各軸まわりのモーメントを作用させた場合に、各容量素子C1～C25にどのような容量値の変化が現れるかを考えると、図22に示すような表が得られる。なお、このような結果が得られる理由は、前述した第1の具体的な実施例において図9に示すような表が得られる理由と同じであるため、ここでは、それぞれの場合についての細かな解析は省略する。やはり、図22の表を見ると、各軸方向の力 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 、および各軸回りのモーメント $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ について、それぞれユニークな結果が得られていることがわかる。そこで、各容量素子C1～C25についての容量値を検出

すれば、これら容量値に基づいて、各軸方向の力 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 、および各軸回りのモーメント $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ を演算により求めることができる。このような演算を行うための回路図の説明は省略する。

【0034】要するに、この第3の具体的実施例では、第1の変位面（平板11の上面11a）に形成した変位電極H1の変位に基づいて、Z軸方向の力 $F_z$ の検出を行い、第2の変位面（柱状体12の4つの側面）に形成した変位電極H2～H25の変位に基づいて、X軸方向の力 $F_x$ 、X軸まわりのモーメント $M_x$ 、Y軸方向の力 $F_y$ 、Y軸まわりのモーメント $M_y$ 、Z軸まわりのモーメント $M_z$ の検出を行っていることになる。

#### 【0035】§5 その他の実施例

以上、本発明をいくつかの実施例に基づいて説明したが、本発明はこれらの実施例のみに限定されるものではなく、この他にも種々の態様で実施可能である。以下にその他の実施例を開示しておく。

【0036】(1) 各電極の形状および配置は、上述の実施例に限られるものではなく、この他にも種々の形状をした電極を種々の位置に配置することが可能である。図23には、第1の変位面（平板11の上面11a）に形成する変位電極のいくつかの実施例を示す。また、図24には、第2の変位面（柱状体12の4つの側面）に形成する変位電極のいくつかの実施例（上述の実施例で用いられたものも含む）を示す。

【0037】(2) XYZ三次元座標系に対する各電極の位置関係も任意である。たとえば、図6に示す実施例では、変位電極D3の中心から変位電極D1の中心へ向かう方向にX軸を定義し、変位電極D4の中心から変位電極D2の中心へ向かう方向にX軸を定義しているが、この座標定義を図25に示すように変えてもよい。図25の実施例では、変位電極D1とD4との境界位置にX軸を定義し、変位電極D1とD2との境界位置にY軸を定義しており、ちょうど図6に示す定義をXY平面上で45°回転させた関係になっている。もちろん、このような定義を行った場合には、図9に示す表のような結果とは異なる結果が得られるため、図10に示す回路とは異なる回路を組む必要がある。

【0038】(3) 変位体10の形状も任意に変更することができる。たとえば、図26に示す変位体10aは、円盤状の平板11の下面に、正形状の平板13を接合したものであり、平板13の一方の面に変位電極J1、J2が形成され、他方の面に変位電極J3、J4（図には現れていない）が形成されている。このような電極構成では、6つの成分 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 、 $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ のすべてを検出することはできないが、本発明は必ずしもこの6つの成分のすべてを検出する力検出装置に限定されるものではない。特定の産業機械では、この6つの成分のうちの特定のいくつかの検出だけが要求される場合がある。このような場合には、要求された成

分の検出を行うのに必要な電極のみを配置すれば足りる。したがって、変位体10の形状は、必要な電極を必要な位置に配置するのに最も適した形状となるように設計すればよい。したがって、平板11は円盤状である必要はなく、矩形状であっても、三角形状であってもよいし、柱状体12は四角柱状である必要はなく、円柱状であっても、三角柱状であってもよい。

【0039】(4) 上述の実施例では、各構成要素の材質については特に触れていないが、各構成要素に要求される特有の性質を満足しうるものであれば、どのような材質のものを用いてもかまわない。たとえば、各電極は導電性のものであれば、金属をはじめとしてどのような材質で構成してもよい。また、変位体10や固定体20は、導電性の材質、絶縁性の材質、いずれでもかまわないが、導電性の材質のものを用いた場合には、その上に絶縁膜を介して各電極を形成することになる。更に、上述の実施例では、可撓部21を、肉厚の薄い平板状の部分によって形成しているが、この部分だけ可撓性の高い別な材質を用いるようにしてもよいし、ダイヤフラムなどの波形構造体を用いてもよいし、橋状の構造体を用いるようにしてもよい。

【0040】(5) 上述の実施例では、1組の容量素子を形成するのに、必ず対向する一対の電極を用いていたが、多数の容量素子について共通の電極を用いるようにしてもよい。たとえば、図5に示す実施例では、変位体10側に13枚の変位電極D1～D13を形成し、固定体20側に同じく13枚の固定電極E1～E13を形成して13組の容量素子を構成しているが、変位体10自体を金属などの導電性材料で構成するようにすれば、図27に示すように、変位体10側にはあえて13枚の変位電極を形成する必要はなくなる。すなわち、図28に破線で示すように、導電性の変位体10の各部分が変位電極D1～D13と同等の機能を果たすことになる。たとえば、図10に示す回路では、この変位体10を13組の容量素子C1～C13に共通する一方の電極（回路図における接地電位側の電極）として用いればよい。逆に、固定体20自体を金属などの導電性材料で構成するようにすれば、固定体20の各部分が固定電極E1～E13と同等の機能を果たすことになる。

【0041】(6) 上述の実施例では、第1の変位面（平板11の上面11a）と第2の変位面（柱状体12の4つの側面）とが互いに直交しているが、両変位面は互いに交わる関係にあれば、必ずしも直交する必要はなく、また両変位面とも必ずしも平面である必要もない。しかしながら、XYZ三次元座標系における力の各軸成分の演算を簡単にするためには、直交する2つの平面をそれぞれ両変位面として用いるのが好ましい。

【0042】(7) 上述の実施例では、変位面とこれに対向する固定面との距離を、変位面に形成した変位電極と固定面に形成した固定電極とによって構成される容量



素子の静電容量の変化として検出しているが、距離の検出方法はこのような容量素子を用いた方法に限定されるものではない。たとえば、ピエゾ抵抗素子あるいは圧電素子を変位電極と固定電極との間に挿入すれば、両電極間の距離をピエゾ抵抗素子あるいは圧電素子によって発生される電圧値として検出することが可能である。

【0043】(8) 上述の実施例では、本発明を力検出装置に適用した実施例であるが、本発明は加速度検出装置あるいは磁気検出装置にも適用可能である。すなわち、変位体10をある程度重量をもった材質で構成しておけば、この装置に加速度が作用すると、この作用した加速度に対応した力が変位体10に加わることになり、加速度検出装置として利用することができる。また、変位体10を磁性体で構成しておけば、この装置を磁界内におくと変位体10に磁気力が加わることになり、磁気検出装置として利用することができる。

【0044】§6 容量素子を用いる検出装置の利点  
最後に、前述の各実施例で述べた容量素子を用いた検出装置の利点について述べておく。第1の利点は、温度特性が優れている点である。一般に、半導体を用いた検出装置では、温度変化の影響を受けやすいという欠点があるが、容量素子を用いた検出装置は、温度変化の影響をほとんど受けない。このため、車載用など過酷な温度条件への適用が可能になる。第2に、容量素子の容量値は、電圧や周波数といった信号に変換しやすいため、信号処理が簡単になるという利点がある。第3に、容量素子では、一对の対向電極が非接触の状態に保たれているため、残留応力などの誤差要因がないという利点がある。ストレインゲージやピエゾ抵抗素子を用いた検出装置では、変位を生じさせる対象となる構造体に残留応力が生じていると、正確な検出ができなくなる。そして、第4に、構造が単純なため、低コストで生産できるという利点がある。

【0045】

【発明の効果】以上のとおり本発明に係る検出装置によれば、変位体上に第1の変位面と第2の変位面という2つの変位面を定義し、これらに対向する面として、固定体上に第1の固定面と第2の固定面という2つの固定面を定義し、検出したそれぞれの面間距離に基づいて変位体に作用した力を求めるようにしたため、XYZ三次元座標系における各軸方向の力とともに、各軸まわりのモーメントを検出することができるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の基本的な実施例に係る力検出装置の側断面図である。

【図2】図1に示す力検出装置における変位体10の斜視図である。

【図3】図1に示す力検出装置をXY平面で切断した横断面図である。

【図4】図1に示す力検出装置にY軸まわりのモーメン

ト-M<sub>y</sub>を作用させた状態を示す側断面図である。

【図5】本発明の第1の具体的な実施例に係る力検出装置の側断面図である。

【図6】図5に示す力検出装置における変位体10の斜視図である。

【図7】図5に示す力検出装置における変位体10の上面図である。

【図8】図5に示す力検出装置をXY平面で切断した横断面図である。

【図9】図5に示す力検出装置の動作を説明する表である。

【図10】図5に示す力検出装置に用いる演算回路の一例を示す回路図である。

【図11】本発明の第2の具体的な実施例に係る力検出装置の側断面図である。

【図12】図11に示す力検出装置における変位体10の斜視図である。

【図13】図11に示す力検出装置における変位体10の上面図である。

【図14】図11に示す力検出装置をXY平面で切断した横断面図である。

【図15】図11に示す力検出装置において、X軸に垂直な平面上に配置された電極を示す図である。

【図16】図11に示す力検出装置において、Y軸に垂直な平面上に配置された電極を示す図である。

【図17】図11に示す力検出装置の動作を説明する表である。

【図18】本発明の第3の具体的な実施例に係る力検出装置の側断面図である。

【図19】図18に示す力検出装置における変位体10の斜視図である。

【図20】図18に示す力検出装置において、X軸に垂直な平面上に配置された電極を示す図である。

【図21】図18に示す力検出装置において、Y軸に垂直な平面上に配置された電極を示す図である。

【図22】図18に示す力検出装置の動作を説明する表である。

【図23】本発明に係る力検出装置における第1の変位面上の種々の電極配置を示す図である。

【図24】本発明に係る力検出装置における第2の変位面上の種々の電極配置を示す図である。

【図25】図5に示す力検出装置において、XYZ三次元座標系について別な定義を行った実施例を示す図である。

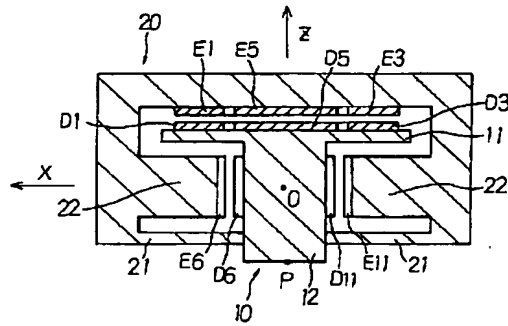
【図26】本発明の更に別な実施例に係る力検出装置に用いる変位体の斜視図である。

【図27】変位体上の変位電極を共通の電極にした実施例を示す側断面図である。

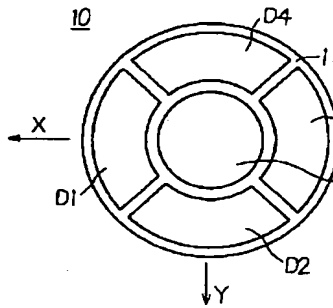
【図28】図27に示す実施例における変位体10上の電極領域を示す図である。



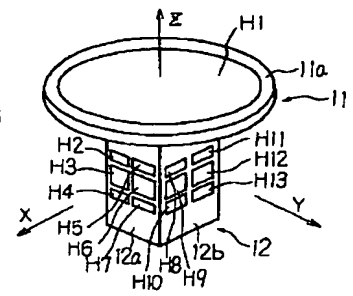
【図5】



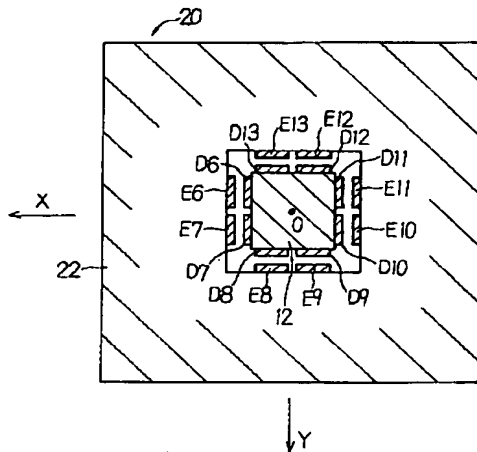
【図7】



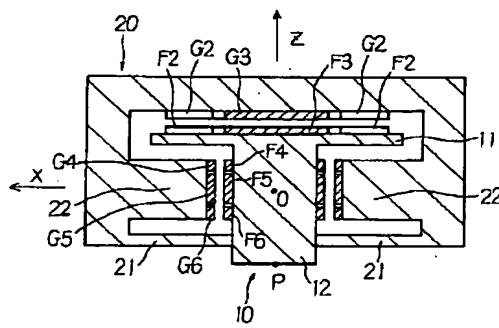
【図19】



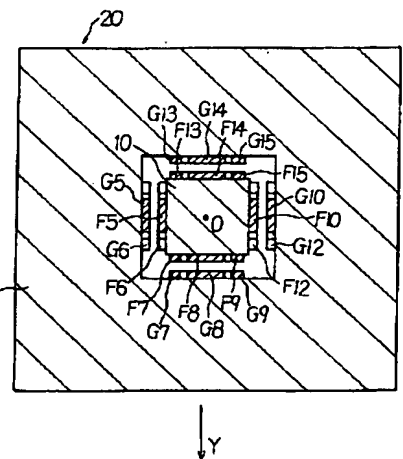
【図8】



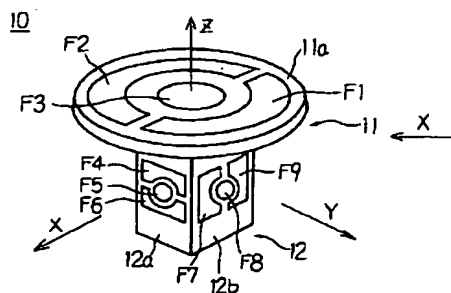
【図11】



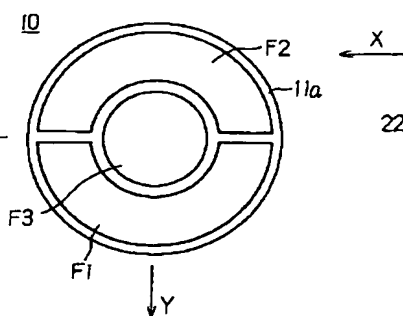
【図14】



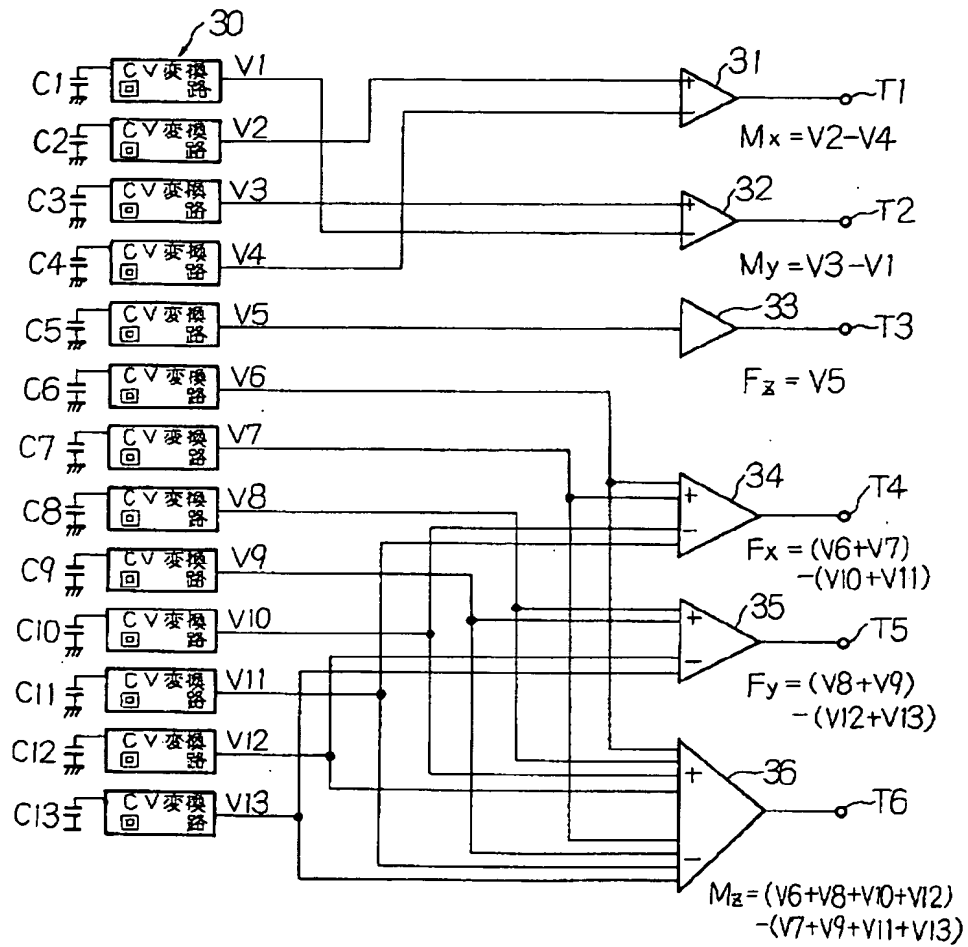
【図12】



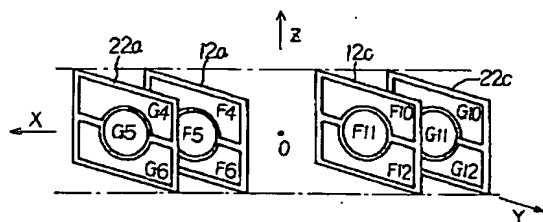
【図13】



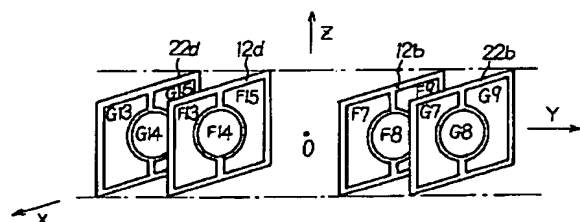
【図10】



【図15】



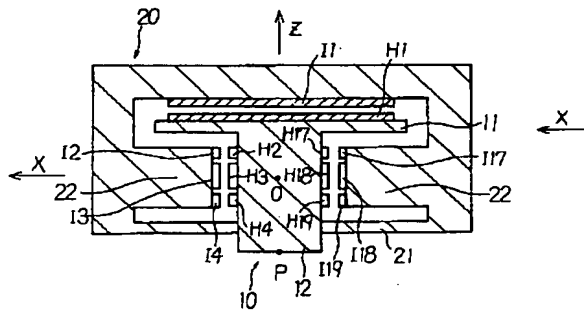
【図16】



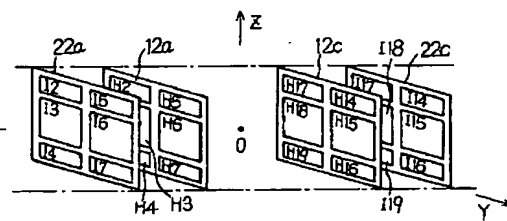
【図17】

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
$F_x$	0	0	0	+	+	+	0	0	0	-	-	-	0	0	0
$F_y$	0	0	0	0	0	0	+	+	+	0	0	0	-	-	-
$F_z$	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$M_x$	-	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$M_y$	0	0	0	+	0	-	0	0	0	-	0	+	0	0	0
$M_z$	0	0	0	0	0	0	+	0	-	0	0	0	-	0	+

【図18】



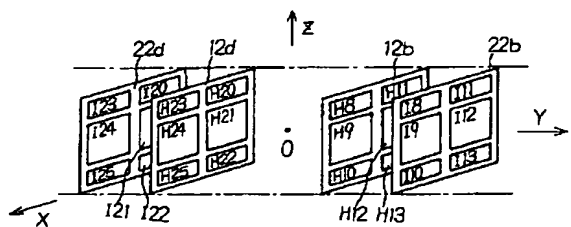
【図20】



【図22】

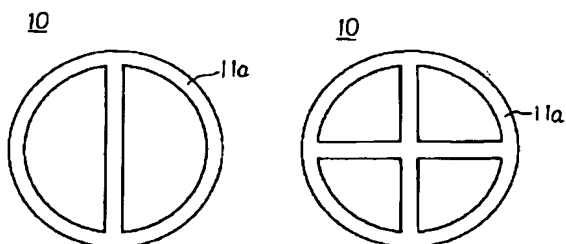
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
$F_x$	0	+	+	+	+	+	+	0	0	0	0	0	0
$F_y$	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+
$F_z$	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$M_x$	0	0	0	0	0	0	0	-	0	+	-	0	+
$M_y$	0	+	0	-	+	0	-	0	0	0	0	0	0
$M_z$	0	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-

【図21】

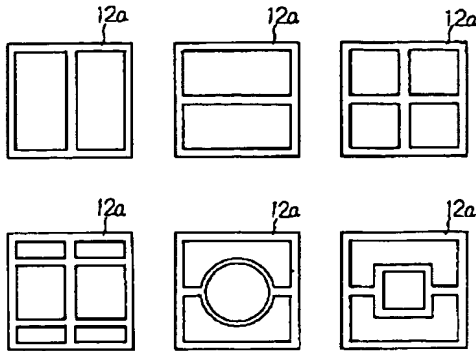


【図23】

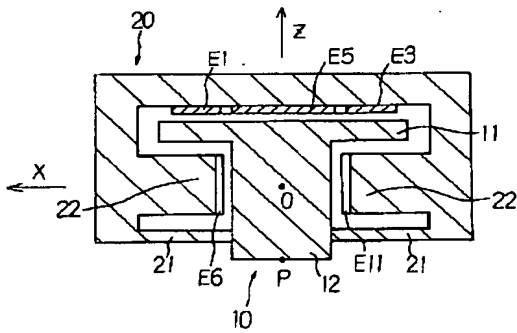
	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25
$F_x$	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0
$F_y$	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-
$F_z$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$M_x$	0	0	0	0	0	0	+	0	-	+	0	-
$M_y$	-	0	+	-	0	+	0	0	0	0	0	0
$M_z$	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-



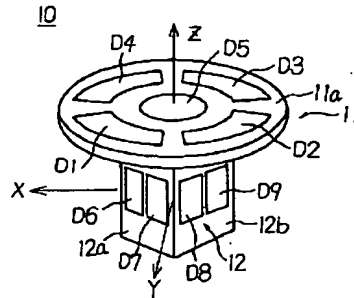
【図24】



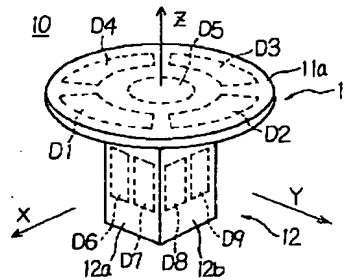
【図27】



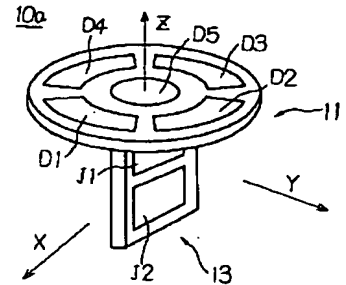
【図25】



【図28】



【図26】



【手続補正書】

【提出日】平成5年1月8日

【手続補正1】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図17

【補正方法】変更

【補正内容】

【図17】

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
F <sub>x</sub>	0	0	0	+	+	+	0	0	0	-	-	-	0	0	0
F <sub>y</sub>	0	0	0	0	0	0	+	+	+	0	0	0	-	-	-
F <sub>z</sub>	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M <sub>x</sub>	-	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M <sub>y</sub>	0	0	0	+	0	-	0	0	0	-	0	+	0	0	0
M <sub>z</sub>	0	0	0	0	0	0	+	0	-	0	0	0	-	0	+